

# TEMA DEL DÍA

## DE LA GEOLOGÍA DE PORTUGAL A LA REGIÓN DEL AVEIRO

### *From the Geology of Portugal to the region of Aveiro*

Antonio Augusto Soares de Andrade (\*)

#### RESUMEN

*La primera distinción que merece ser hecha en el edificio geológico portugués es entre el zócalo hercínico o varisco y la cobertera alpina. En la Región de Aveiro se juxtaponen dos de las Zonas tectono-estratigráficas del zócalo hercínico (Zona Centro-Ibérica y Zona de Ossa-Morena) y una de las grandes unidades de la cobertera alpina (Orla Occidental). Se analizan todas estas unidades y se ilustran como una aproximación previa a las excursiones que serán efectuadas.*

#### ABSTRACT

*A first order division can be made in the Portuguese geological territory, viz. the Variscan basement and the Alpine cover. In the Aveiro Region, two of the tectono-stratigraphic Zones of the basement (Central Iberian and Ossa-Morena), as well as one of the major units of the cover (Western Border), are represented. They are analyzed through a résumé of the geology of Portugal, and illustrated through a pre-vision of the field trips.*

**Palabras clave:** Geología de Portugal, Macizo Hespérico, Zona Centro-Ibérica, Zona de Ossa-Morena, Orla Occidental, Región de Aveiro.

**Keywords:** Geology of Portugal, Hesperian Massif, Central Iberian Zone, Ossa-Morena Zone, Western Border, Aveiro Region.

La geología de Portugal es también, en cierta medida, la geología de España. Con algunos aspectos específicos, naturalmente. Pero con suficientes características comunes como para que no surjan grandes problemas en una audiencia mayoritariamente española.

En el edificio geológico portugués, la primera distinción que merece ser hecha es entre el **zócalo hercínico** y la **cobertera alpina**.

#### EL ZÓCALO HERCÍNICO

El zócalo hercínico (o varisco) corresponde a la parte occidental del Macizo Hespérico (o Ibérico). Su estructuración es fundamentalmente hercínica aunque contiene trazas de estructuraciones más antiguas, principalmente de edad cadomiense (o panafricana). Hay quien la llama Meseta Ibérica, o simplemente Meseta. Sin embargo, Macizo y Meseta son dos conceptos diferentes, uno es geológico y el otro es geomorfológico, por lo que no debían de ser confundidos. A su vez, el Macizo Hespérico es uno de los segmentos de la cadena varisca europea que,

desde hace casi un siglo, Hans Stille integró en su Meso-Europa (Fig. 1). Recordemos que Meso-Europa es, por definición, la parte actual del continente europeo exenta de deformaciones importantes desde el final del Paleozoico.

En su conocido trabajo de 1945, el hispanófilo alemán Franz Lotze procuró reducir la complejidad del Macizo Hespérico dividiéndolo en varias "Zonas" (Fig. 2), según un esquema que investigaciones posteriores, a pesar de su importancia, no alteraron significativamente (Ribeiro et al., 1979; Pérez-Estación y Bea, 2004). El territorio portugués comprende cuatro de las zonas de Lotze: Zona Galaico-Castellana (ZGC), Zona Luso-Alcúdice (ZLA), Zona de Ossa-Morena (ZOM) y Zona Sur-Portuguesa (ZSP). En la actualidad, las Zonas Galaico-Castellana y la Luso-Alcúdice se suelen asociar a una única Zona Centro-Ibérica (ZCI), tal y como Julivert et al. propusieron en 1972 en su influyente "Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares" (Julivert et al., 1972-74). La ZCI, además, incluye en su parte noroeste un dominio algo peculiar (con diversas unidades alóctonas), muchas veces interpretado como una

(\*) Departamento de Geociências (ELMAS), Universidade de Aveiro. 3810-193 Aveiro, Portugal



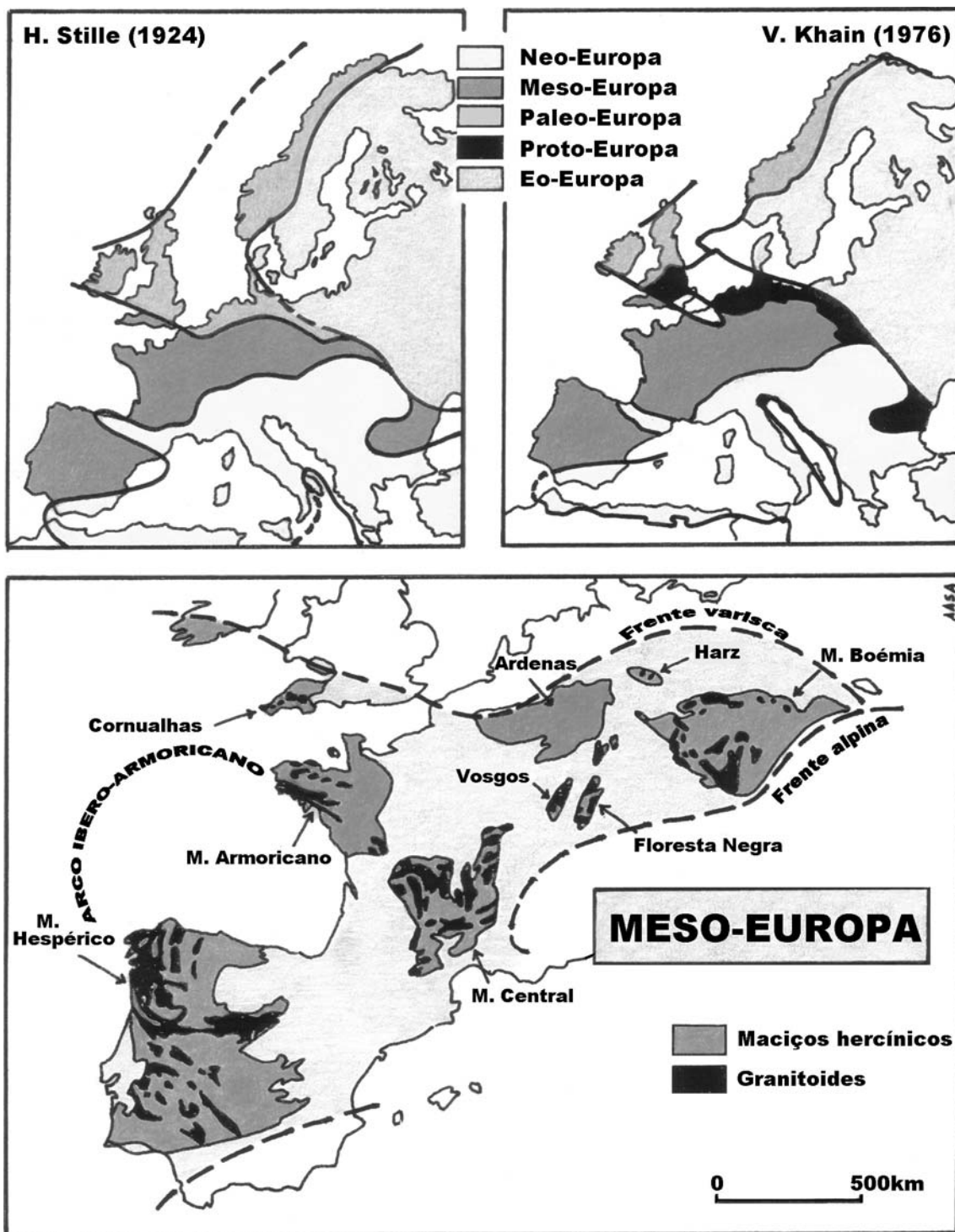


Fig. 1. ¿Europa o Europas? La Meso-Europa y el Macizo Hespérico: zócalo y cobertera.

Subzona de la ZCI, pero que hoy se prefiere individualizar como Zona Galaico-Transmontana (ZGT). Actualmente, también es habitual considerar un Terreno Ibérico en oposición a un Terreno Sur-Portugués y, entre ambos, un Terreno Oceánico. Nos preguntaremos, ¿por qué esta preocupación con Zonas, Subzonas y Terrenos? La respuesta está relacionada con la Tectónica de Placas. Un ejemplo: el Terreno Sur-Portugués (que no corresponde exactamente a la

Zona Sur-Portuguesa de Lotze) se puede interpretar como una parte de la (micro)placa de Avalonia acreccionada al Terreno Ibérico durante el Paleozoico superior. Los restos de esta acreción estarían en las Anfibolitas de Acebuches (o Beja-Acebuches), a su vez interpretados como un fragmento de la corteza oceánica paleozoica. No es éste el lugar, ni el momento, para explorar caminos tan peligrosamente seductores. Apenas recordaremos que el concepto



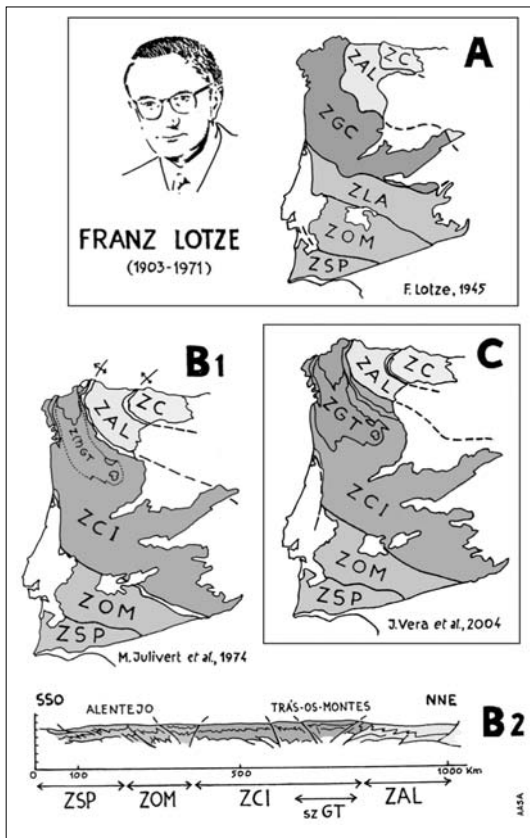


Fig. 2. Zonalidad del Macizo Hespérico: esquema original y variaciones.

de Terreno, muy genético (y por eso difícil), es más adecuado en el contexto de la Tectónica de Placas que el concepto, bastante descriptivo, de Zona. Son cosas distintas y, sin embargo, con frecuencia son confundidas. Debemos estar atentos.

En Portugal, la Zona Centro-Ibérica contacta, al oeste y al sur, con la Zona de Osa-Morena.

### Zona Centro-Ibérica

La ZCI tiene dos características principales. La primera es la discordancia generalizada del Ordovícico inferior, cuarcítico, sobre un vasto conjunto arenoso-pélfico conocido por la designación informal de Complejo Esquisto-Grauváquico (Complexo Xisto-Grauváquico - CXG). La segunda característica es la abundancia de rocas graníticas s.l. con edades casi exclusivamente hercínicas.

– El CXG es, aún hoy, objeto de debates, siempre interesantes aunque muchas veces no son concluyentes. Sintetizando al máximo, podemos distinguir el Grupo das Beiras (GB), al sudoeste, del Grupo do Douro, al nordeste (Fig. 3). El GB tiene características turbidíticas y de plataforma siliciclástica y, ya plegado, está localmente intruido por granitos tardi-cadomienses, con  $550 \pm 20$  Ma. El GD exhibe aspectos más turbidíticos y parece que se depositó, predominantemente, ya en el Cámbrico.

Entre el Grupo das Beiras y el Ordovícico se ha identificado una Formación vulcano-sedimentaria (“Serie Intercalar”), limitada por discordancias. Esta

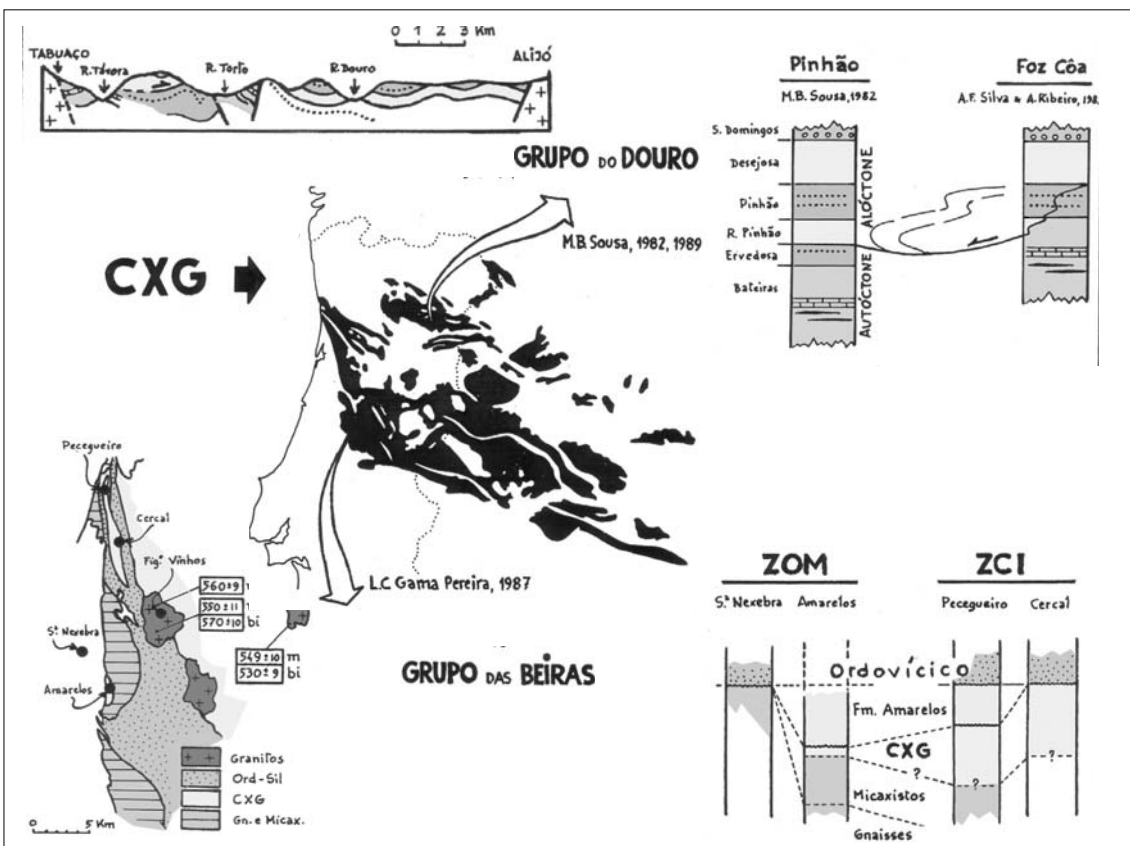


Fig. 3. ZCI: el CXG en Portugal.

Serie Intercalar es muy importante en algunas interpretaciones paleogeográficas del Cadomiense centro-ibérico.

La base del CXG no aflora. Por ello, poco sabemos del zócalo precámbrico sobre el que reposa la cobertura cadomiense de la ZCI. La única datación directa y fiable proporcionó, en granulitas de la región de Bragança, una edad de  $1079 \pm 78$  Ma. Entonces, ¿no será el zócalo precámbrico de la ZCI de edad grenvillense? Es difícil afirmarlo porque las granulitas tienen un carácter alóctono: pertenecen a la Unidad Alóctona Superior del noroeste peninsular. Aunque hay más datos, indirectos, que lo sugieren. Por ejemplo, se han encontrado circones detríticos meso-proterozoicos en cuarcitas ordovícicas de la ZCI. Y circones con la misma edad se conocen en el noroeste de España, aunque en otra zona (ZAL), cierto, pero posiblemente en el mismo Terreno.

– La transgresión ordovícica marca verdaderamente el comienzo del “megaciclo” sedimentario paleozoico, o sea, de la segunda cobertura – llamémosla “paleozoica” – de la ZCI. El Ordovícico de la clásica Serra do Buçaco es, en todo, semejante al de la Península de Crozon, en el Macizo armoricano: las mismas ortocuarcitas, llamadas “armoricanas”, idénticos sedimentos y faunas del Ordovícico medio, análoga asociación vulcano-sedimentaria del Ordovícico superior. Por eso, es hoy considerado prácticamente como dato adquirido que las dos regiones estaban localizadas en un único bloque “ibero-armoricano”. La sucesión paleozoica muestra,

siempre, características epicontinentales, con una potencia total que raramente supera un millar de metros. Según la profundidad del nivel de erosión, la secuencia puede limitarse al Ordovícico (por ejemplo: Santa Luzia – Pampilhosa da Serra), al Ordovícico-Silúrico (ejemplo: Buçaco) o alcanzar incluso el Devónico medio (ejemplo: Portalegre).

Una situación algo diferente es la de la Subzona (o, si preferimos, Zona) Galaico-Transmontana. Aquí, el Silúrico es dominante, potente y exhibe una gran variedad de facies litológicas, incluyendo importantes manifestaciones volcánicas. Pero éste es, recordémoslo, un dominio que hoy en día se interpreta como resultante de la superposición de mantos de cabalgamiento enraizados no se sabe bien dónde. Su interpretación paleogeográfica y geodinámica es todavía delicada, lo que ha impedido que se hayan propuesto algunos modelos atractivos y verosímiles.

Las deformaciones hercínicas empezaron, como muy tarde, en el Devónico medio-superior. La mayoría de los especialistas proponen 3 fases principales (D1, D2, D3), a las que añaden una generalizada fracturación tardía. La fase D3, intra-westfaliense, es considerada una buena referencia para situar el emplazamiento de la mayor parte o, incluso, de todas las intrusiones graníticas. Los granitos sin-D3, mayoritariamente alcalinos de dos micas, con  $320 \pm 10$  Ma, tienden a ocupar el núcleo de largas bandas (antiformes) metamórficas NO-SE, llamadas plutonometamórficas (Fig. 4), que se pueden asociar a

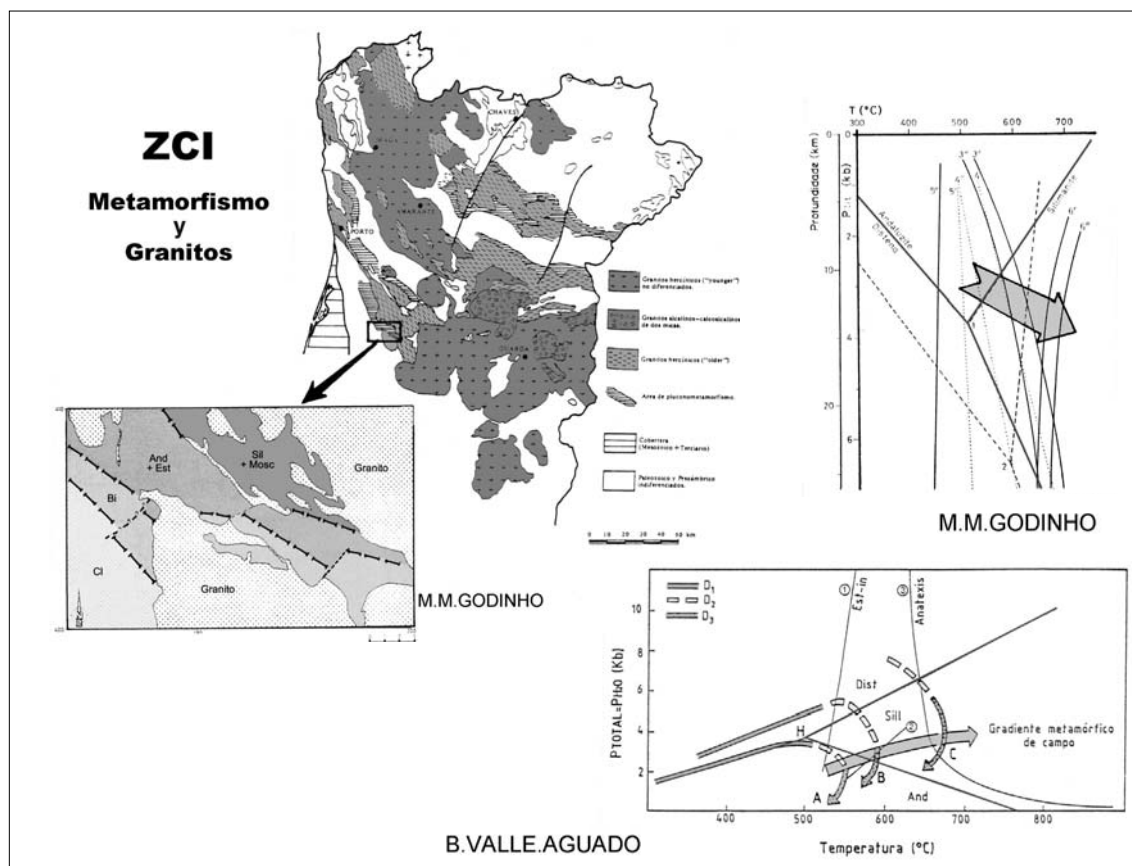


Fig. 4. ZCI: metamorfismo y granitos variscos.



grades zonas de cizalla de la corteza. Los granitos tardi a post-D3, fundamentalmente calco-alcalinos y biotíticos, con  $300 \pm 10$  Ma, cortan los anteriores ("Younger Granites" vs "Older Granites") y presentan indicios de una contaminación significativa del manto superior en su génesis. Con ellos se relacionan, de forma todavía no completamente esclarecida, numerosas mineralizaciones de Sn, W, Au, U...

### Zona de Ossa-Morena

La ZOM es más heterogénea y misteriosa que la ZCI. En Portugal está representada en la mitad norte de la provincia del Alentejo. Al oeste, antes de desaparecer por debajo de los sedimentos de la cobertura meso-cenozoica, está afectada por la gran zona de cizalla dextra de Porto-Tomar que la habrá dislocado hacia el norte hasta los alrededores de Porto (Fig. 5). Como en España, la ZOM se subdivide generalmente en varios dominios o sectores (Espinho-Campo Maior, Elvas, Estremoz-Barrancos, Évora, Beja),

orientados NO-SE y separados por fallas al mismo tiempo cabalgantes y transcurrentes.

El contacto ZOM-ZCI ha sido objeto de interpretaciones contradictorias. En el NE alentejano, se acepta pragmáticamente que es por falla (Falla de Portalegre). La situación resulta así más simple que en el lado español, donde el límite se ha colocado entre la zona de cizalla de Badajoz-Córdoba y el batolito granítico de los Pedroches, o sea, en una banda donde la Serie Negra, unidad característica del Proterozoico de la ZOM, está superpuesta por cuarcitas ordovícicas de la ZCI. En el interior de la ZOM, la discordancia entre las abundantes calizas cámbricas y la Serie Negra proterozoica recuerda a la que separa, en la ZCI, las cuarcitas "armoricanas" (ausentes en la ZOM) del CXG. Y el plutonismo, cadomiense a hercínico, muy heterogéneo y en media más básico que en la ZCI, ha autorizado a establecer paralelismos con la cadena de los Andes, aunque todavía no está tan bien inventariado como del lado español.

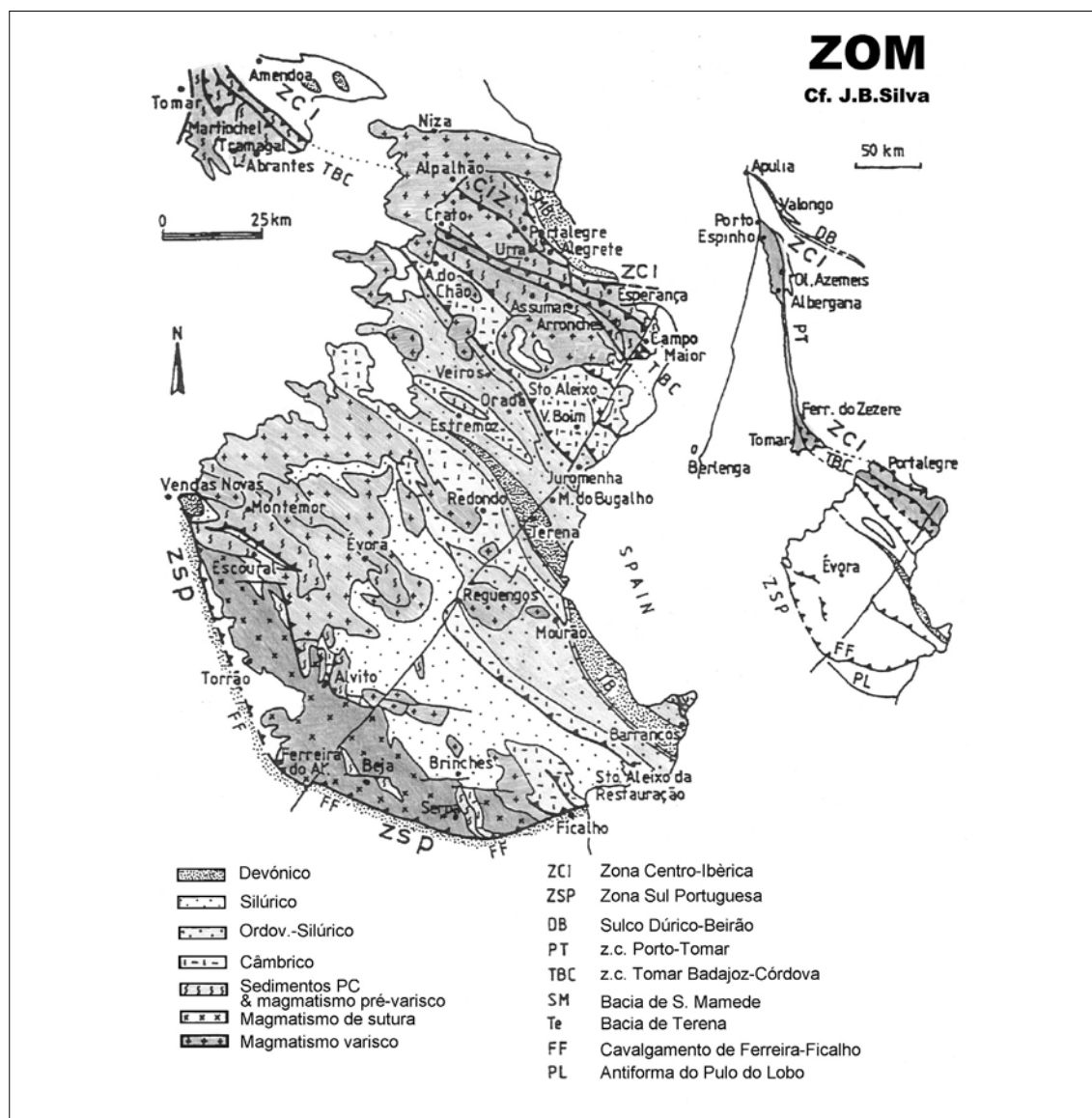


Fig. 5. La ZOM, incluyendo la banda Porto-Tomar.



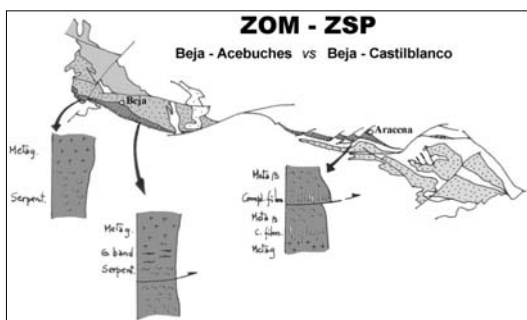


Fig. 6. ZOM-ZSP: Beja-Acebunches vs Beja-Castilblanco.

El contacto ZOM-ZSP no es menos interesante, sobre todo cuando interpretamos las Anfibolitas de Beja-Acebunches como una ofiolita (Fig. 6). El contacto adquiere entonces aspectos de sutura entre dos Terrenos (Ibérico y Sur-Portugués), o incluso entre dos placas (Armórica y Avalonia). Ojalá que este entusiasmo con las placas no menosprecie algunas cuestiones difíciles, como por ejemplo el Pulo do Lobo y su terminación oriental, o el alineamiento

magmático Beja-Castilblanco, o los granitos estanníferos de la Cornualla inglesa (situados en la prolongación de la ZSP).

A diferencia de lo que pasa en la ZCI, todo parece indicar que el zócalo precámbrico, ante-cadomiense, de la ZOM es eburniense (Paleo-Proterozoico). Los argumentos disponibles son atractivos, aunque indirectos y no siempre desprovistos de ambigüedad. La información, sobre todo española, proviene de circones detríticos pre-cadomienses, como aquellos encontrados en la Serie Negra del complejo anticlinal de Olivença-Monestério: contrariamente a los de las cuarcitas ordovícicas de la ZCI, no contienen circones meso-proterozoicos (grenvillenses: ca. 1Ga), pero tan sólo paleo-proterozoicos (eburnienses: ca. 2Ga).

## LA COBERTERA ALPINA

La cobertera alpina está representada, al oeste y al sur, por las Orlas mesocenoicas Occidental s.l. (incluyendo la Cuenca terciaria de Tejo-Sado) y Meridional, respectivamente (Fig. 7). Estas orlas constituyen la parte emergida de algunas cuencas meso y cenozoicas

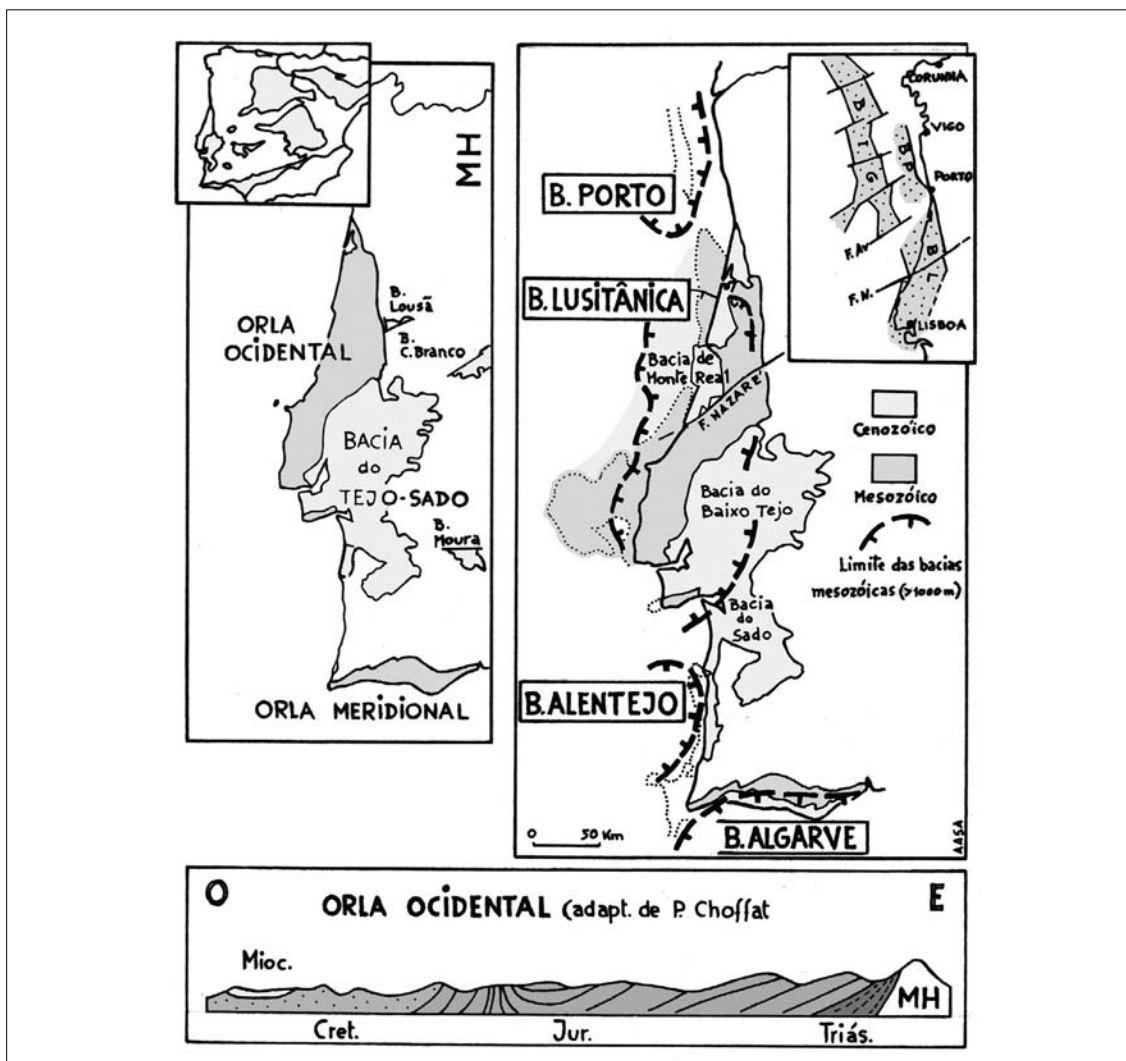


Fig. 7. La Cobertera post-varisca: Orlas y Cuencas.



instaladas durante la apertura y desarrollo del Atlántico Norte. Aquellas cuencas fueron relativamente poco afectadas por la orogenia alpina. De hecho, no hay en Portugal cadenas montañosas como las Béticas o los Pirineos. Solamente en la Serra da Arrábida, al sur de Lisboa, son conocidas desde hace mucho tiempo modestas estructuras tangenciales de estilo alpino.

La terminología no siempre es clara para los que no son especialistas (Mougenot, 1989). Podemos considerar una “mega-cuenca”, donde incluyemos la Cuenca Lusitana (s.l.) en el Margen oeste y la Cuenca del Algarve en el Margen sur; en su intersección, una unión triple ligaría los océanos Atlántico y Tetis. Esta imagen no es incorrecta pero resulta inevitablemente simplificadora. En una perspectiva menos globalizante, la cuenca Lusitana se desarrolló en la parte norte del Margen oeste y la inversión alpina habrá provocado la formación de dos (sub)cuenas esencialmente neógenas a un y otro lado del eje mesozóico. En la literatura, la expresión Cuenca Lusitana muchas veces es interpretada como cuenca meso-cenozoica mientras que en otras ocasiones esta designación parece que se refiere apenas a la cuenca mesozoica. Para simplificar las cosas, será aquí muy usado el término, más descriptivo, Orla Occidental s.l. que incluye la Cuenca terciaria de Tejo-Sado y la Orla mesocenoica Occidental s.st. (o simplemente Orla Occidental).

Consideremos entonces tres grandes “momentos” geológicos en esta historia post-hercínica:

- Durante la mayor parte del Mesozoico, el Margen oeste ibérico probablemente fue sujeto, al menos, a dos episodios de “rifting”, uno en el Triásico superior y otro en el Jurásico superior-Cretácico inferior. La Cuenca Lusitana se desarrolla en una depresión alargada, submeridiana (Fig. 8), entre el Macizo Hespérico al este y un “horst” del mismo Macizo al oeste (del cual las Islas Berlengas son hoy un testimonio). La enorme riqueza del registro fósil incluye, entre muchos otros ejemplos, la pista más extensa de huellas de dinosaurios de Europa y la primera flora europea de dicotiledóneas.
- Las compresiones alpinas (Fig. 9) están registradas desde la apertura cretácica del Golfo de Vizcaya. La subducción de esta corteza oceánica bajo la (micro)placa Ibérica, precursora de la cordillera cantábrica-pirenaica, produjo deformaciones que disminuyen de intensidad de norte para sur, que iniciaron la formación de los “grabens” donde se instalaron la(s) cuenca(s) del Tajo y Sado. Sin embargo, es durante el Mioceno cuando, como reacción a las deformaciones béticas, el Margen portugués sufre una inversión, dando lugar en la Cuenca Lusitana s.l. al desarrollo de dos (sub)cuenas neógenas, una al este (Cuenca del Tajo-Sado), otra al oeste (Cuenca Occidental Portuguesa, o de Monte Real, o del Mondego). El accidente cavalgante

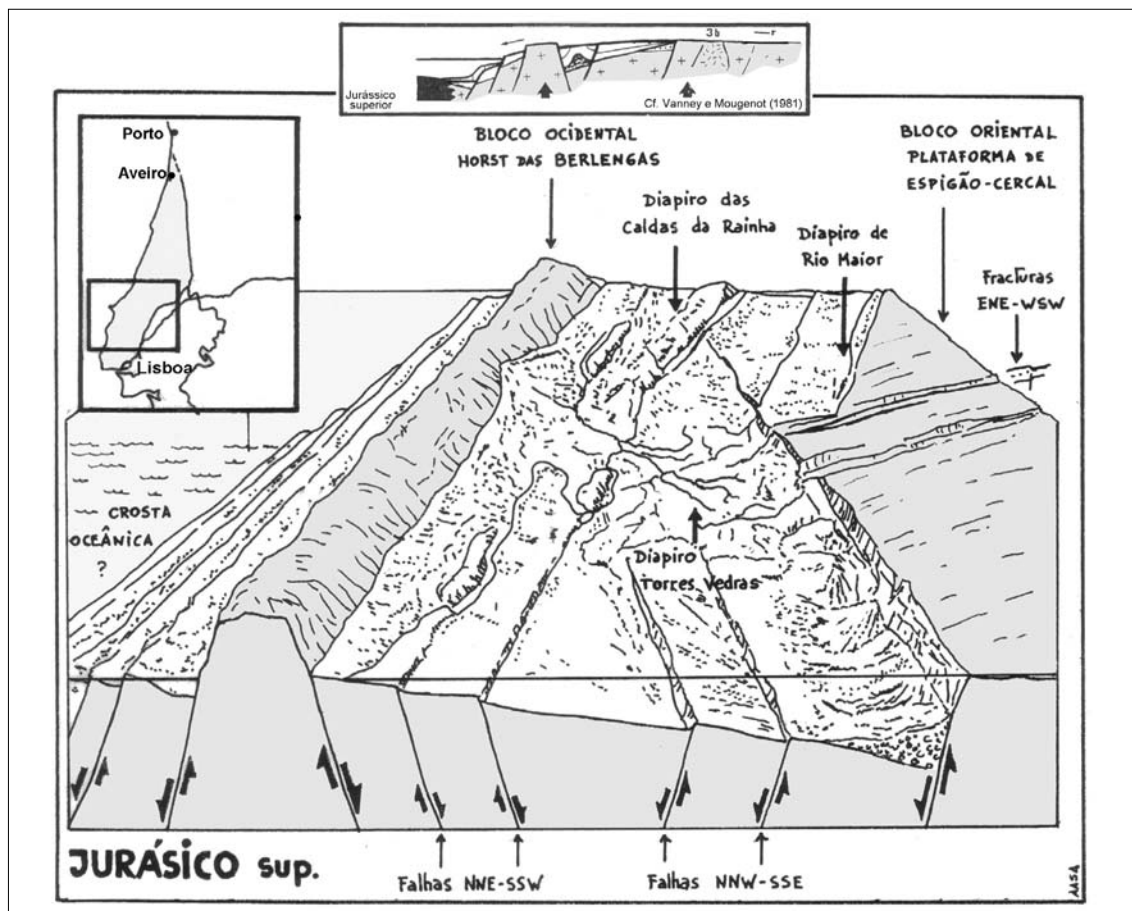


Fig. 8. Esquema paleogeográfico de la Cuenca Lusitana en el Jurásico superior (adaptado de F. Guéry et al. 1986).

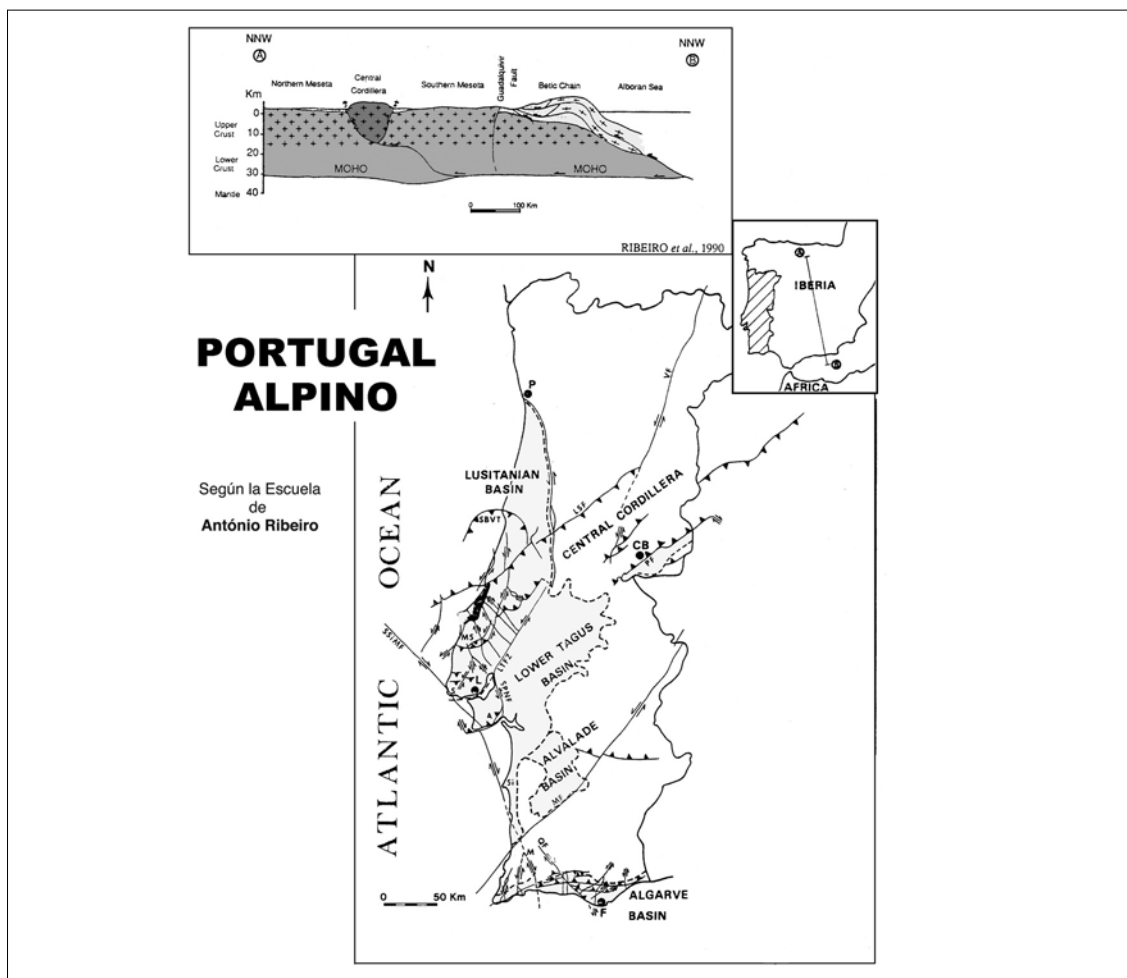


Fig. 9. La tectónica alpina: reactivación del zócalo e inversión de las cuencas mesozoicas.

de Nazaré (reactivando una transformante mesozoica) parece constituir una frontera entre un dominio más estable al norte y un dominio más deformado al sur.

- El campo de tensiones en el oeste peninsular es hoy inferido a través de mediciones de índole diversa. Todas ellas apuntan a una curvatura de las trayectorias de la compresión máxima que que pasa de NNO-SSE en la zona central de Iberia para ONO-ESE en el Margen oeste. El gran sismo de Lisboa (1755) está presente en la memoria de todos. Y son numerosos los estudios de Neotectónica que han surgido en los últimos años. En una audaz interpretación propuesta en los años 90 por nuestros compañeros António Ribeiro y João Cabral, el Margen Occidental Ibérico se encontraría hoy en una etapa de transición entre un margen pasivo a un margen activo. En otras palabras, el Atlántico Norte habría iniciado su cierre (Fig. 10).

## LA REGIÓN DE AVEIRO

En la acepción que hoy nos interesa – por las excursiones que se van a realizar – la Región de Aveiro

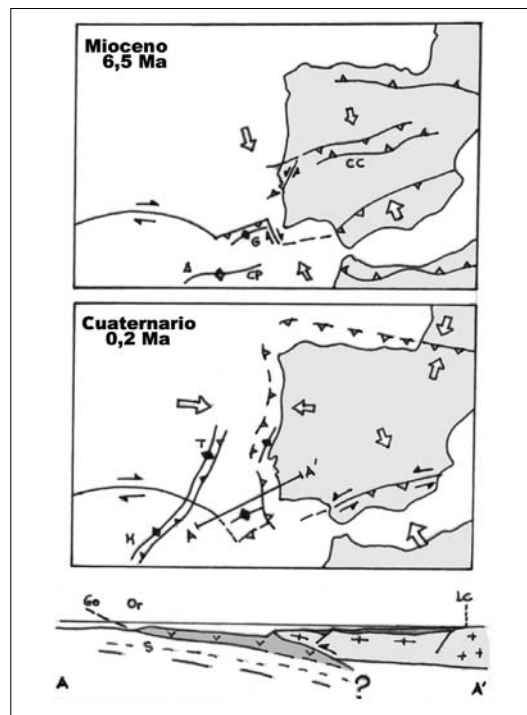


Fig. 10. ¿Será que el Atlántico está empezando a cerrarse? (A. Ribeiro, *Soft Plate and Impact Tectonic*, Elsevier, 2002)





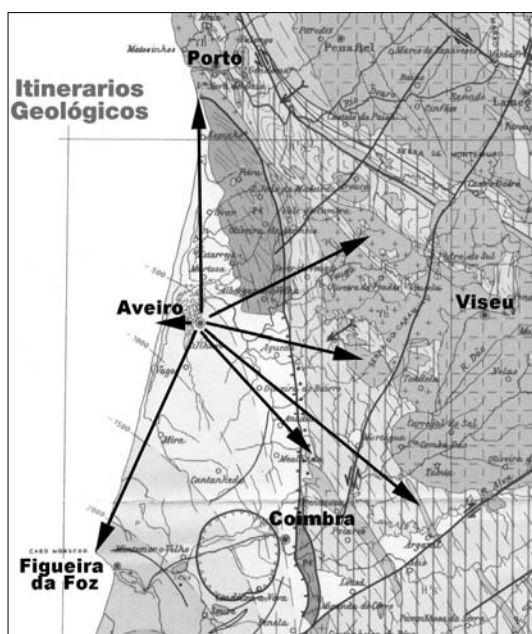


Fig. 11. La Región de Aveiro, definida por las excursiones.

abarca una área con menos de 80 km de radio centrada en la ciudad a la que muchos llaman, con la exageración típica de los portugueses, la Venecia de Portugal. La extendemos desde Porto hasta Figueira da Foz, desde el litoral atlántico hasta las sierras de Freita y Caramelo (Fig. 11). La Región de Aveiro es muy variada desde el punto de vista geológico: basta ver que en ella se yuxtaponen dos de las Zonas del zócalo hercínico (ZCI y ZOM) y una de las grandes unidades de la cobertera alpina (Orla Occidental). En esta última incluiremos la curiosísima "Ría de Aveiro". Como es previsible, esta variabilidad geológica está bien impresa en el paisaje.

— Con respecto a la ZCI, dos de las excursiones programadas permiten apreciar la relación entre el Paleozoico (Ordovícico o Carbonífero) y el Precámbrico (CXG). En cierto modo las dos excursiones se complementan: una es de índole más estratigráfica y paleontológica (Buçaco) y la otra de índole más estructural (Ázere). El Ordovícico de Buçaco es uno de los más completos de la Península. El sinclinal NO-SE de Buçaco termina, al NO, en el gran accidente Porto-Tomar, en una localidad donde se puede observar un pequeño pero interesante sinclinal carbonífero N-S con flora del Estefaniense terminal. A su vez, en Ázere, al SE de Buçaco, un afloramiento espectacular muestra, de forma muy didáctica, los efectos de la superposición de las deformaciones hercínicas sobre las deformaciones cadomienses.

En las otras dos excursiones (Sierras de Freita y Caramulo) se da más énfasis al metamorfismo y plutonismo granítico hercínicos, principalmente al llamado plutonometamorfismo y a sus relaciones con la generación y emplazamiento de los granitos sin-D3. Ambas las regiones exhiben paisajes espectaculares. Además, la Sierra de Caramulo es frecuentemente el palco de trabajos didácticos experimentales sobre Geodinámica Externa (erosión, transporte y

sedimentación) para alumnos portugueses (y respectivos profesores) de diversos niveles de enseñanza.

— Con respecto a la ZOM, el litoral de Porto, además de ser un sitio agradable (porque es playa), es un buen muestrario de la variedad litológica cadomiense y de las interferencias hercínicas debidas, al menos parcialmente, a la confluencia de la zona de cizalla N-S de Porto-Tomar con la alineación plutonometamórfica NO-SE de Porto-Viseu.

— Con respecto a la Orla Occidental, lo primero que llama la atención en la región de Aveiro es una extensa llanura litoral. Las arenas plio-cuaternarias dejan ver, aquí y allá, areniscas y conglomerados rojos del Triásico superior, calizas más o menos margosas del Jurásico, y areniscas (con algunas intercalaciones carbonatadas) y arcillas del Cretácico. Merece la pena hacer notar que las areniscas cretácicas constituyen uno de los mejores acuíferos multicapa portugueses. Y también que las arcillas fini-cretácicas no solamente contienen una interesante fauna de vertebrados si no que también alimentan una antigua industria cerámica.

Otros dos lugares que merecen una atención especial, entre otros motivos porque serán objeto de visita en las excursiones.

El primero se sitúa en el extremo SO, donde la Sierra de Boa Viagem, sobre la ciudad-playa de Figueira da Foz e interrumpe bruscamente la llanura litoral. Las compresiones alpinas dieron aquí lugar a una estructura en arco y cabalgante hacia el N con el levantamiento monoclinial de una bella sucesión jurásico-cretácica. Es aquí donde se localiza el estratotipo de la base del Bajociense (Jurásico medio). No es por casualidad que este sector atrae desde hace mucho las excursiones escolares.

El segundo aspecto se refiere a la "Ría de Aveiro". Esta es la designación tradicional aplicada a una laguna (del tipo "barrier-island"), donde hoy desemboca el Río Vouga. La laguna debe haber empezado a individualizarse a partir del siglo X con el crecimiento, de N para S, del cordón de dunas. Su cierre en el siglo XIX tuvo, claro está, consecuencias catastróficas. La barra actual fue abierta artificialmente en 1808. Se trata de una zona donde es muy perceptible la interrelación Ciencia-Tecnología-Sociedad.

## Agradecimientos

A Beatriz Valle Aguado, que gentilmente tradujo la versión original del manuscrito.

## BIBLIOGRAFÍA

- Julivert M., Fontboté J.M., Ribeiro A. Y Conde L. (1972-74). *Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares*. Noticia Explicativa. IGME, Madrid, 113 p.
- Mougenot D. (1989). *Geologia da Margem Portuguesa*. Instituto Hidrográfico, Lisboa, 259 p.
- Ribeiro A., Antunes M.T., Ferreira M.P., Rocha R.B., Soares A.F., Zbyszewski G., Moitinho de Almeida F., Carvalho D. Y Monteiro J.H. (1979). *Introduction à la Géologie générale du Portugal*. Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 114 p.
- Pérez-Estaún, A. Y Bea, F., editores (2004). *Macizo Ibérico*. En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed.). SGE-IGME, Madrid, 19-230. ■

